JUGOSLAVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI

ACADEMIA SCIENTIARUM ET ARTIUM SLAVORUM MERIDIONALIUM

KRŠ JUGOSLAVIJE

CARSUS IUGOSLAVIAE

8/3

STJEPAN BAHUN i FRANJO FRITZ

HIDROGEOLOGIJA LIČKOG POLJA

(S 1 kartom u prilogu)

THE HYDROGEOLOGY OF LIČKO POLJE

ZAGREB

1972

ODJEL ZA PRIRODNE NAUKE

Urednik – Redactor
Izv. član MILAN HERAK

Tehnički urednik – Technical redactor
Izv. član MIRKO MALEZ

Tisak, uvez i oprema: Izdavački zavod Jugoslavenske akademije, Zagreb

KRŠ JUGOSLAVIJE CARSUS IUGOSLAVIAE	8/3	43–55 [1]–[13]	ZAGREB 1972.

UDK 550.8:551.311.2:551.49(497.1)

STJEPAN BAHUN i FRANJO FRITZ

HIDROGEOLOGIJA LIČKOG POLJA

(S 1 kartom u prilogu)

Primljeno na sjednici Razreda za prirodne nauke JAZU dne 6. 3. 1972.

U prikazu hidrogeoloških odnosa posebna je pažnja posvećena ocjeni hidrogeološke funkcije pojedinih područja ovisno o međusobnom odnosu između litostratigrafskih članova, tektonike, morfologije i nivoa podzemnih voda.

UVOD

Namjera da se izgradi nekoliko retencionih akumulacija u pozadini već realizirane akumulacije Kruščica (HE Senj, prilog 1), koje bi zadržale velike vodene valove, zahtijevala je dodatni studij hidrogeoloških odnosa užeg područja Ličkog polja. U tu je svrhu istražena oblast koja obuhvaća sjeveroistočne padine Velebita i samo Ličko polje od Donjeg Pazarišta preko Divosela i Počitelja do Gornje Ploče. Hidrogeološka interpretacija izvršena je na temelju registriranih hidrogeoloških pojava u terenu i na temelju podataka iz Tumača i karata 1 : 25 000 Osnovne geološke karte SFRJ list Udbina 1 : 100 000 (Bahun S., Bukovac J., Sokač B. i Šušnjar M., 1966) i list Gospić 1 : 100 000 (Sokač B., Šćavničar B. i Velić I., 1967) i detaljnih radova (Fritz F. i Nikler L., 1970; Fritz F. i Pavičić A., 1971). U terenskim istraživanjima provedenim u svrhu izrade ovog rada sudjelovali su još geolozi S. Dubravić, M. Iverac, Đ. Hrelić i M. Welsenbach.

Do radova na Osnovnoj geološkoj karti ova područja nisu bila detaljnije istraživana, tako da osim fondovskog materijala koji se odnosi na istraživanja u vezi s gradnjom HE Senj postoji svega nekoliko tiskanih radova (Bahun S., 1963. i Herak M., Bahun S. i Magdalenić A., 1966).

LITOSTRATIGRAFSKI SLIJED I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE STIJENA

U bližoj okolici Ličkog polja i u samom polju mogu se razlikovati ove grupe litostratigrafskih članova:

1. Karbonski i permski klastiti (C + P) sastoje se od šejlova i pješčenjaka unutar kojih leže leće kvarcnih konglomerata i biokalkarenita. To su u cjelini vodonepropusne naslage, i oborinske se vode samo u malim količinama infiltriraju u površinske rastrošene dijelove. Te se vode na nižoj koti pojavljuju u obliku cijednih izvora i pištevina. Leće biokalkarenita u cjelini ne narušavaju opću vodonepropusnost ovom kompleksa stijena.

2. Permski dolomiti (P_{2+3}) zauzimaju gornje dijelove perma i leže na nepropusnim šejlovima i pješčenjacima karbona i starijeg perma. Iako zbog razlomljenosti nemaju karakteristike nepropusnih stijena, oni u zajednici s nepropusno podinom proširuju opću nepropusnost područja.

3. Donjotrijaske naslage (T_1) leže na sedimentima perma, a izgrađene su od podinskih dolomita onečišćenih terigenim detritusom, koji postupno prelazi u tinjčaste pješčenjake i siltite. U završnom dijelu razvijeni su dolomiti s postupnom redukcijom terigenih čestica i približavanjem karbonatnom razvoju. Ove su naslage u cjelini vodonepropusne, a manji silazni izvori i pištevine koji se u njima javljaju u uskoj su vezi s pukotinskom oštećenošću i trošenjem stijena bližih površini. Budući da u sedimentacijskom slijedu leže na naslagama paleozoika, oni kvantitetno i kvalitetno pridonose formiranju nepropusnog područja.

4. Anizički vapnenci i dolomiti (T_2^1) međusobno se bočno i vertikalno izmjenjuju. Unutar vapnenaca ili dolomita ima mjestimičnih pojava leća tipa vapnovitog šejla. Pojavom aniz̆ičkih naslaga u normalnom se slijedu prekida kontinuitet nepropusnosti, što je dovelo do površinske bezvodice i stvaranja podzemnih vodenih komunikacija.

5. Naslage koje pripadaju ladiniku na većem su dijelu terena izgrađene od vapnenaca i dolomita (T_2^2) koji se, jednako kao i u aniziku, bočno i vertikalno izmjenjuju. U sjeverozapadnom dijelu terena, međutim, u vezi je s nemirima, uključujući i vulkansku aktivnost u ladiniku, došlo do sedimentacije facijelno različitih članova. Tako se mogu razlikovati: u najnižim dijelovima šejlovi koji se izmjenjuju s vulkanskim grauvakama ($^1T_2^2$) na kojima leže tanko uslojeni vapnenci s većim ili manjim prisustvom piroklastične komponente; u višim dijelovima pojavljuju se pravi tufovi ($^2T_2^2$). Opći porast silicijske komponente od starijih prema mlađim naslagama uvjetovao je postanak nodula, leća i uložaka rožnjaka. Opisana facijelna raznolikost odrazila se i na hidrogeološke karakteristike tako da su piroklastični sedimenti ladinika vodonepropusni, dok se karbonatni dijelovi koji leže u krovini piroklastita ili se na njih bočno nastavljaju odlikuju znatnom vodopropusnosti, pa se nadovezuju na propusne stijene anizika.

6. Gornjotrijaski sedimenti imaju u čitavom području transgresivni položaj, pa s tim u vezi u najnižim dijelovima, u depresijama paleoreljefa postoje pojave boksita ili klastičnih stijena izgrađenih od zrnih tufitičnih pješčenjaka i finozrnih laporovito-glinovitih sedimenata ($T_3^{1,2}$). Iako ove naslage prema petrološkim karakteristikama imaju sve uvjete da budu vodonepropusne, one zbog svog lateralnog diskontinuiteta, relativno male debljine i propusne vapnenačko-dolomitne podloge, ne predstavljaju potpunu prepreku podzemnim vodama.

7. Na klastitima normalno leže dolomiti ($T_3^{2,3}$). To su gusti, dobro uslojeni dolomiti koji na mjestima gdje nedostaje klastična podina, transgresivno leže na ladiničkim naslagama. Stupanj vodopropusnosti ovih stijena ovisi prvenstveno o tektonskom položaju, pa se s obzirom na svoj karbonatni sastav mogu smatrati djelomično vodopropusnima.

8. Lijaske naslage (J_1) nastavljaju se kontinuirano na gornjotrijaske dolomite. U donjim dijelovima izmjenjuju se dolomiti s vapnencima, u srednjem dijelu dolomiti potpuno nedostaju, a u gornjem dijelu prevladavaju tzv. mrljasti vapnenci koji su mjestimično zahvaćeni dolomitizacijom ili sadrže fino dispergiranu glinovitu komponentu, pa jedini od opisanih lijaskih naslaga samo mjestimično mogu uvjetovati slabije uspore tijeku vode (npr. sjeveroistočno od doline Bužima).

9. Karbonatne stijene dogera, malma i krede. Doger (J_2) razvijen je u facijesu jednoličnih debelo uslojenih vapnenaca sa sporadičnim pojavama leća dolomita. Malm (J_3) zastupan je vapnencima, dolomitiziranim vapnencima i dolomitima koji se međusobno lateralno i vertikalno izmjenjuju i u gornjim dijelovima mjestimično vapnenačkim brečama. Kreda ($K_{1,2}$) u čitavom je području u karbonatnom razvoju; u donjoj kredi prevladavaju vapnenci i vapnenačke breče, na prelazu iz donje u gornju kredu dolazi pojas dolomitnih breča, dolomita i dolomitiziranih vapnenaca, a u gornjoj kredi dominiraju slabo uslojeni rudistni vapnenci. Sve ove naslage od dogera do gornje krede zbog svog pretežno vapnenačkog sastava bile su podložne mehaničkoj degradaciji prilikom tektonskih pokreta, kao i intenzivnim korozivnim procesima, kako na površini, tako i u podzemlju, pa su zbog toga veoma vodopropusne.

10. Vapnenački klastiti tercijara (Tc) leže transgresivno na starijim naslagama. Izgrađeni su od vapnenačkih breča, rjeđe od konglomerata, koji se bočno i vertikalno izmjenjuju s vapnencima i mjestimično uložaka breča s laporovitim vezivom. Iako su ove naslage u cjelini dezintegrirane u još većoj mjeri nego već opisane naslage jure i krede, ponegdje su manje vodopropusne, i to ili zbog pojava laporovitih uložaka, ili zbog toga što su nakon disolucije zaostale veće količine glinovitog materijala, koje su sekunarno začepile pukotine pa i veće podzemne šupljine. Stoga se u morfološki veoma okršenim terenima može naići i na slabije vodopropusne partije.

11. Kvartarne naslage (Q) nalaze se danas uz vodene tokove i u većem dijelu Ličkog polja. Prevladavaju proluvijalni sedimenti dok su orga-

nogene-barske naslage, glaciofluvijalne i druge kvartarne tvorevine manje rasprostranjene. Ovi sedimenti su i bočno i vertikalno promjenjive vodopropusnosti ovisno o količini glinovite komponente u njihovu sastavu i o njihovoj debljini.

Na temelju navedenih hidrogeoloških karakteristika pojedinih litostratigrafskih članova ili grupa članova može se zaključiti da u dobro vodopropusne naslage spadaju vapnenci i dolomiti srednjeg trijasa (T_2^1 i T_2^2), vapnenci i dolomiti lijasa, dogera i malma (J_1, J_2 i J_3), vapnenci donje i gornje krede ($K_{1,2}$) i vapnenački klastiti tercijara (Tc). Slabo vodopropusne naslage čine dolomiti perma (P_{2+3}), mlađi dijelovi ladiničkih piroklastičnih stijena ($^2T_2^2$) i dolomiti gornjeg trijasa ($T_3^{2.2}$). Nepropusnima u cjelini mogu se smatrati kompleksi naslaga karbona i starijeg perma (C + P), donjotrijaski klastiti (T_1) i gornjotrijaski klastiti ($T_3^{1.2}$). Naslage promjenjivih hidrogeoloških karakteristika zastupane su kvartarnim sedimentima (Q). Na toj je osnovi izvršena diferencijacija naslaga u priloženoj hidrogeološkoj karti.

TEKTONSKA OSNOVA HIDROGEOLOŠKIH ODNOSA

Ličko polje nalazi se u graničnom pojasu dviju tektonskih jedinica koje prema tumaču Osnovne geološke karte SFRJ, listovi Gospić i Udbina nose nazive: tektonska jedinica Velebita (jugozapadni dio) i tektonska jedinica ličkog sredogorja (Sokač A., Šćavničar A. i Velić, I., 1967), tj. tektonska jedinica Bruvno (Bahun S., Bukovac J., Sokač B. i Šušnjar M. 1966). Generalno uzevši te su dvije jedinice odvojene tzv. ličkim rasjedom koji se može pratiti od Donjeg Pazarišta duž sjeveroistočnog ruba trupine Velebita prema jugoistoku još daleko izvan ovog područja.

Tektonska jedinica Velebita podudara se i s morfološkom izdvojenošću terena. Na malom horizontalnom razmaku idući od Ličkog polja prema jugozapadu nalaze se visinske razlike veće od 1 000 m, a u tektonskom pogledu i na stratigrafske skokove duž »ličkog rasjeda« koji odgovaraju rasponu između karbona i malma. Naslage koje u ovom dijelu terena izgrađuju tektonsku jedinicu Velebita pripadaju paleozoiku, trijasu i juri. Predstavljaju jugozapadno krilo antiklinale, tako da su nagnute prema jugozapadu, pa su starije naslage ujedno i na najmanjoj nadmorskoj visini, tvoreći tako nepropusnu jezgru koju podzemne vode Ličkog polja ne mogu probiti.

Tektonska jedinica ličkog sredogorja izgrađena je od krednih vapnenaca i vapnenačkih breča, tercijarnih vapnenačkih klastita i u manjoj mjeri jurskih ili trijaskih karbonatita. Primarne strukture blagih bora mnogostruko su poremećene brojnim rasjedima, pa se često može govoriti o strukturi blokova. Usprkos tome mogu se ponegdje rekonstruirati već i hektometarski oblici. Osim što je rasjedna tektonika odredila prioritetne lokalne smjerove podzemnih vodenih veza, ponegdje je dovela na površine ili u pliće dijelove gornjotrijaske dolomite pa čak i donjotrijaske klastite koji danas predstavljaju relativne barijere podzemnim vodama. No bez obzira na to, čitavu ovu tektonsku jedinicu možemo smatrati u cjelini vodopropusnom.

Budući da se upravo na kontaktu opisanih dviju tektonskih jedinica nalazi Ličko polje danas prekriveno kvartarnim naslagama, bilo je potrebno izvršiti barem djelomičnu tektonsku rekonstrukciju njegova dna. Radi toga su u hidrogeološkoj karti isprekidanim linijama izvučene pretpostavljene trase rasjeda (ispod kvartarnih sedimenata) koji imaju hidrogeološku funkciju. Tako se može zaključiti da se Ličko polje nalazi na sistemu rasjeda u kojem dominantnu ulogu imaju uzdužni, paralelni i ešalonizirani rasjedi pružanja sjeveroistok–jugozapad. Drugi je sistem, manje-više dijagonalan, pružnja istok–zapad.

Hidrogeološke osobine tektonske jedinice Velebita na jugozapadu (nepropusna jezgra paleozojskih i trijaskih naslaga) i tektonska jedinica ličkog sredogorja na sjeveroistoku (vodopropusne karbonatne naslage jure, krede i tercijara) diktiraju usmjeravanje čitave podzemne i površinske hidrografske mreže generalno od tektonske jedinice Velebita preko Ličkog polja do tektonske jedinice ličkog sredogorja. Ličko polje prema tome u širim okvirima predstavlja depresiju kojom vode otječu u smjeru kraće osi, i to u jugozapadnom dijelu pretežno površinski (nepropusno dno polja), a u sjeveroistočnom dijelu pretežno podzemno (kroz propusne naslage dna polja).

HIDROGEOLOŠKA RAJONIZACIJA

Prilikom ocjene hidrogeoloških funkcija pojedinih dijelova ovog terena držali smo se principa da hidrogeološke kvalitete uvjetovane geološkim karakteristikama (litostratigrafskim i tektonskim) mogu imati svoju realnu vrijednost samo ako se njihova ocjena odnosi na ograničen prostor ,pa tako ovdje primijenjena shema vjerojatno neće biti potpuno prikladna za druge oblasti. Smatramo, naime, da svako shematizirano prikazivanje hidrogeoloških odnosa u krškim područjima s pretenzijama opće primjenjivosti skriva opasnosti donošenja pogrešnih zaključaka. Prema tome svako novo istraživanje nosi u sebi niz specifičnosti koje moraju biti riješene »na licu mjesta«, bez sputavanja unaprijed postavljenim shemama. Stoga smo, imajući na umu prvenstveno litostratigrafske, tektonske i morfološke karakteristike, podijelili ovaj teren u nekoliko karakterističnih područja, i to na:

— područje kompleksne barijere Velebita
— područje relativnih barijera
— propusna područja, unutar kojih se razlikuju:
  područje sa stalnim površinskim tokovima
  područje s povremenim površinskim tokovima
  područje bez površinskih tokova.

Područje kompleksne barijere Velebita

Sjeveroistočne padine Velebita između Donjeg Pazarišta i Gornje Ploče izdvojene pod gornjim naslovom, strmo se izdižu iznad Ličkog polja dosižući nadmorske visine i od preko 1 300 m. To je ujedno i teren koji pripada tektonskoj jedinici Velebita, a izgrađen je u ovom dijelu od nepropusnih klastita, slabo propusnih dolomita i piroklastita i propusnih vapnenaca i dolomita. Prema tome unutar područja koja su označena kao kompleksna barijera nalazimo i propusnih naslaga, što na neki način nije u skladu s uobičajenim tretiranjem hidrogeoloških funkcija stijena. Za ovakvu interpretaciju odlučili smo se zato što kompleks stratigrafskih, litoloških, tektonskih, morfoloških i hidroloških osobina ovog područja uvjetuje da sve podzemne i površinske vode teku prema unutrašnjosti. To je prije svega rezultat tektonskog položaja i međusobnog odnosa nepropusnih, slabo propusnih i propusnih naslaga. Propusni srednjotrijaski vapnenci i dolomiti nalaze se »uloženi« između nepropusnih paleozojskih, donjotrijaskih i srednjotrijaskih klastita koji im leže u podini i slabo propusnih i nepropusnih dolomita odnosno klastita gornjeg trijasa koji su u krovini. Budući da se u ovom slučaju nepropusne naslage (paleozojske i trijaske) nalaze i morfološki najniže, a da gornjotrijaski dolomiti i klastiti dolaze na većim visinama, to je normalno da i vode iz propusnih srednjotrijaskih vapnenaca i dolomita gravitiraju prema kontaktu s nepropusnom podinom. Zbog toga unutar tako shvaćene barijere može doći samo do lokalnih i privremenih gubitaka voda. Radi ilustracije spomenut ćemo da na jugozapadnom rubu doline Bužima, usprkos tome što na površini nedostaju podinske nepropusne naslage, ima čitav niz stalnih i povremenih izvora. Pri tome igraju veoma važnu ulogu krovinske naslage. Iako ovom prilikom ne namjeravamo ulaziti u rješavanje problema podzemne »velebitske razvodnice«, smatramo potrebnim istaknuti da nju u ovom dijelu određuju gornjotrijaski klastiti i dolomiti i da se ona nalazi na kontinentalnoj strani Velebita, a da se u središnjem dijelu kod Brušana približava Ličkom polju. To ističemo radi toga što želimo naglasiti da ovdje opisana kompleksna barijera nema znatnije prostiranje prema jugozapadu.

Relativne barijere

Relativne barijere nalazimo u jugoistočnoj polovini Ličkog polja, a izgrađene su od klastita, dolomita i vapnenaca. To su područja koja ne usporavaju podzemne vode u potpunosti i ne uvjetuju pojavu izvora značajnije izdašnosti, već samo lokalno mijenjaju smjer kretanja podzemnih voda. Budući da naslage koje izgrađuju relativne barijere predstavljaju osnovnu stijenu polja, preko njih se kreću vode kroz kvartarne sedimente ne ulazeći dublje u samu stijenu, pa se to odrazilo na povećanim količinama voda u površinskim dijelovima polja.

Propusna područja

Propusna su područja dio tektonske jedinice ličkog sredogorja, a izgrađena su od karbonatnih naslaga, od kojih tercijarni vapnenački klastiti prevladavaju u sjeverozapadnom i jugoistočnom dijelu istraživanog područja. U središnjem dijelu nalazi se Ličko polje u kojem su osnovne stijene prekrivene kvartarnim sedimentima veoma varijabilnih hidrogeoloških karakteristika. Karbonatni, pretežno vapnenački sastav i velika sekundarna oštećenost razlogom su vodopropusnosti, koja međutim, u plićim dijelovima može biti različitih vrijednosti, ovisno o stupnju začepljenosti pukotina glinovitom masom s površine. Budući da su se procesi zaglinjavanja podzemnih šupljina odigravali i vremenski i prostorno nekontinuirano, stupanj takvog prirodnog začepljenja šupljina varira bočno i vertikalno. Uzimajući u obzir ove karakteristike kao i odnos između nivoa podzemnih voda i morfologije unutar propusnog područja mogu se razlikovati tri jedinice: područje sa stalnim površinskim tokovima, područje s povremenim površinskim tokovima i područje bez površinskih tokova.

Područje sa stalnim površinskim tokovima. Ovdje su izdvojeni oni dijelovi propusnog područja u kojima podzemne vode tokom čitave godine imaju svoje izdanke na površini. To su morfološki najniži predjeli, a nalaze se prvenstveno na jugozapadnom rubu Ličkog polja, u dolini Donjeg Pazarišta, dolini Bužima i uz tokove Like, Otešice, Novčice i Počiteljice. Treba međutim, razlikovati dijelove koji su sastavni dio polja i prekriveni kvartarnim naslagama od dijelova gdje je osnovna stijena na površini. U prvom su slučaju i kvartarne naslage saturirane podzemnim vodama pa se u vrijeme jačih oborina najniži tereni pretvaraju u močvarišta. U drugom su slučaju izdanci podzemnih voda vezani samo na riječna ili potočna korita, izvore uz riječne doline ili bunare. Uske zone koje su u karti izdvojene uz tokove predstavljaju priobalne terene u kojima su pukotinske podzemne vode vjerojatno povezane s površinskim tokovima.

Područje s povremenim površinskim tokovima. Ovo područje obuhvaća preostali dio Ličkog polja, koji nije prekriven kvartarnim sedimentima, a morfološki je nešto viši i udaljeniji od trupine Velebita i od stalnih površinskih vodotoka. Korita povremenih tokova, od kojih je najznačajniji tok Jadove, puna su vode jedino u doba povišenja nivoa podzemnih voda na širem prostoru, ili u vrijeme naglog nailaska oborina, kada pukotine podzemlja nisu dovoljnog kapaciteta da sprovedu sve naišle količine voda. U sušnom dijelu godine podzemne vode vjerojatno ne predstavljaju suvislu cjelinu. Smatramo da vode iz površinskih tokova ne dosižu do ovih područja, osim iznimno u vrijeme nailaska većih bujica.

Područja bez površinskih tokova. Preostali dijelovi istraživanog terena koji su morfološki istaknutiji (sjeveroistočni obodi polja i veći humci u polju) jednako su kao i prije opisana područja izgrađeni od propusnih karbonatnih naslaga, samo s razlikom što na njima nedostaje kvartar

nih tvorevina i što se nalaze na većim nadmorskim visinama. Zbog toga su pukotine u podzemlju slabije sekundarno ispunjene i jače propusne, pa oborinske vode brzo nestaju u podzemlju gravitirajući prema najbližoj barijeri, a to je u vrijeme visokih voda rub polja, a u vrijeme suša razbijene podzemne vode ispod dna polja i ispod korita povremenih tokova.

KRETANJE VODA

Hidrogeološka problematika šireg područja bila je u novije vrijeme tretirana s različitih aspekata (Herak M., Bahun S. & Magdalenić A., 1966; Bahun S., Bukovac J., Sokač B. & Šušnjar M., 1966; Sokač B., Šćavničar B. & Velić I., 1967), tako da su i hidrogeološki odnosi jugozapadne Like generalno dobili svoj okvir. Prema citiranim autorima sve vode jugozapadno od Velike i Male Kapele i Plješivice pripadaju jadranskom slivu i na putu do mora zaobilaze nepropusni dio Velebita da bi na sjeverozapadu kod Otočca i na jugoistoku kod Gračaca ušle u podzemlje i nakon toga se pojavile u moru putem brojnih izvora i vrulja.

Ovim prikazom obuhvaćen je jedan dio nepropusne trupine Velebita kao i izvorišni dio porječja rijeke Like koje se morfološki podudara s prostiranjem većeg dijela Ličkog polja. Kako su rijeka Lika i njezini pritoci u cjelini uzevši izdanci podzemnih voda, to i podzemne vode teku generalno u istom smjeru kao i površinski tokovi. Prema tome će na izlazu iz Ličkog polja sve vode teći prema sjeveru bez obzira na odstupanja u detaljima koja su evidentna ili u samom polju ili u području rubnih padina.

Promotrimo najprije vode koje u polje dolaze sa sjeveroistoka, iz brdovitog karbonatnog predjela čije apsolutne visine dosižu i do 1 200 m. One se kreću isključivo podzemljem, a generalno su usmjerene prema jugozapadu, pa na morfološki oštrom prelazu u Ličko polje (580 m n/m) djelomično izlaze na površinu preko čitavog niza povremenih izvora, aktivnih samo u vrijeme visokih voda. Visoke vode nailaze veoma naglo, a budući da kapacitet podzemnih pukotina dna polja nije dovoljan da sve količine propusti u podzemlje prema jugozapadu polja, jedan dio otječe površinski Jadovom prema sjeverozapadu, plaveći pri tom morfološki niže predjele. Ilustracija takvoj hidrogeološkoj situaciji je pojava estavela pri sjeveroistočnom rubu Ličkog polja. U sušnom razdoblju podzemne vode ispod tada suhih korita otječu prema jugozapadu sve do površinskog toka rijeke Like.

S druge, jugozapadne strane obodna je hidrogeologija mnogo raznovrsnija zahvaljujući kompleksnosti geološke građe. Tu prije svega susrećemo pojave podzemnih voda na kontaktima propusnih i nepropusnih naslaga unutar velebitske barijere, ili na kontaktu propusnih dijelova barijere i područja u kojem su kvartarne naslage saturirane podzemnim vodama (npr. dolina Bužima). Prema tome podzemna je cirkulacija unutar velebitske barijere ograničena na srednjotrijaske vapnence i dolomite zbog čega je i kapacitet izvora na rubu polja relativno malen. Smatramo da na ovom dijelu terena, a posebno između Brušana i Donjeg Pazarišta razvodnicu čine gornjotrijaske naslage, pa oborinske vode, koje padnu jugozapadno od njih, otječu prema moru. Poniranje voda u okviru velebitske barijere registrirano je na dvama mjestima: kod Bužima i Jadovna (južno od Bužima). U prvom se slučaju radi samo o privremenom toku podzemljem, jer se vode pojavljuju 300 m dalje na izvoru uz rub polja. Drugo, ponori u Jadovnom najvjerojatnije sprovode vode u dolinu Bužima, i to duž privilegiranih putova pukotinama nastalim zbog razlomljenosti terena.

Nakon što se pojave na jugozapadnom rubu polja, vode iz velebitske barijere nastavljaju teći bilo površinski, bilo podzemljem, i to od Donjeg Pazarišta i Bužima prema jugoistoku i istoku, iz središnjeg dijela prema sjeveru i iz jugoistočnog dijela prema sjeverozapadu. Površinski su vodotoci stalni i u pravilu imaju podzemne vodene veze s bližim riječnim priobalnim područjem i u najnižim dijelovima Ličkog polja uz velebitsku barijeru veoma su visokog nivoa. U vrijeme visokih vodostaja područje sa stalnim površinskim tokovima proširuju se prema sjeveroistoku. Tada visokim stupnjem saturacije usmjerava cirkulaciju voda koje dotječu sa sjeveroistočnog karbonatnog područja, prema sjeverozapadu.

U samom polju, kao što je već spomenuto, površinske i sve podzemne vode nastoje da se prije ili kasnije sliju prema površinskom toku Like, koja ih dalje odvodi prema okumulaciji Kruščica. Normalno je da u samom polju ima lokalnih odstupanja koja su uvjetovana bilo morfologijom, bilo specifičnim rasporedom geoloških karakteristika. Tako je došlo do lokalnih odstupanja u smjeru otjecanja zbog relativnih barijera (središnji dio) ili do formiranja lokalne razvodnice unutar jurskih naslaga (sjeveroistočno od doline Bužima).

ZAKLJUČAK

Ličko polje nalazi se u graničnom pojasu između tektonske jedinice Velebita i tektonske jedinice ličkog sredogorja, čime su određene i njegove hidrogeološke karakteristike. Naslage tektonske jedinice Velebita grade jugozapadno krilo antiklinale, u kojoj najstarije naslage paleozoika i donjeg trijasa tvore nepropusnu jezgru koja sprečava otjecanje podzemnih voda iz Ličkog polja prema moru. Podzemne i površinske vode usmjerene su prema tektonskoj jedinici ličkog sredogorja odakle otječu dalje prema sjeveru.

Prema stratigrafskom položaju i prema hidrogeološkim karakteristikama stijena mogu se razlikovati ovi litostratigrafski članovi:

Vodonepropusni paleozojski klastiti (C + P), i donjotrijaski klastiti (T_1); dobro vodopropusni srednjotrijaski vapnenci i dolomiti (T_2^1 i T_2^2), vodonepropusni šejlovi i piroklastiti ($^1T_2^2$); slabo vodopropusni srednjotrijaski vapnenci s rožnjacima ($^2T_2^2$); gornjotrijaske naslage s nepropu-

snim klastitima u podini ($T_3^{1,2}$) i slabo vodopropusnim dolomitima ($T_3^{2,3}$); dobro vodopropusni jurski (J_1, J_2, J_3) kredni ($K_{1,2}$) i tercijarni (Tc) karbonatni sedimenti; kvartarni sedimenti (Q) s promjenjivim karakteristikama.

Prema hidrogeološkoj funkciji ovih naslaga u terenu postoje tri specifična područja:

1. Kompleksna barijera Velebita nalazi se na jugozapadnom rubu Ličkog polja, a sastavljena je od nepropusnih naslaga (paleozoik i donji trijas) i slabo propusnih naslaga (gornjotrijaskih dolomita), između kojih se nalaze dobro vodopropusni srednjotrijaski vapnenci i dolomiti. Sve su naslage nagnute prema jugozapadu, a podzemne vode teku iz propusnih naslaga prema Ličkom polju.

2. Relativne barijere sastavljene su od gornjotrijaskih dolomita slabe vodopropusnosti koji lokalno ili povremeno mijenjaju smjer tečenja podzemnih voda.

3. Propusna područja sastavljena od dobro vodopropusnih karbonatnih naslaga. Prema odnosu između morfologije i nivoa podzemnih voda, mogu se razlikovati ova područja:

a) Područje sa stalnim površinskim tokovima karakterizirano je visokim nivoom podzemnih voda, uglavnom stalnim izvorima na jugozapadnom rubu polja i stalnim površinskim tokovima u polju. U ovom su području podzemne vode u vezi s površinskim vodotocima.

b) Područje s povremenim površinskim vodotocima karakterizirano je u suhom razdoblju s niskim podzemnim vodama (ispod dna korita tokova), povremenim izvorima na sjeveroistočnom rubu, kao i pojavom da podzemne vode nisu povezane s površinskim tokovima. U kišnom razdoblju visoke vode dolaze veoma naglo i u velikim količinama, pa je tada podzemlje ovog područja saturirano vodama; povremeni izvori postaju aktivni, a prije suhim koritima teku velike količine površinskih voda.

c) Područje bez površinskih tokova nalazi se sjeveroistočno od Ličkog polja. To je planinska oblast s visinama od preko 1 200 m, a cirkulacija voda odvija se isključivo u podzemlju.

U vezi s kretanjem voda može se reći, da dio Velebita koji s jugozapada okružuje Ličko polje sprečava podzemna otjecanja prema moru i u ovom području predstavlja razvodnicu. Zbog toga se vode koje dotječu iz propusnih srednjotrijaskih vapnenaca i dolomita pojavljuju na izvorima na jugozapadnom rubu Ličkog polja. Podzemne i površinske vode dalje teku kroz Ličko polje prema sjeveru sve do akumulacije Krušćica. Na drugoj strani, na sjeveroistočnom rubu polja, u suhom razdoblju, podzemne se vode ne pojavljuju na površini već se dreniraju podzemljem prema jugozapadu do rijeke Like. U kišnom razdoblju kada je podzemlje Ličkog polja saturirano vodama, pojavljuju se izvori i prorade estavele na sjeveroistočnom obodu polja pa vode i podzemljem i površinski teku prema sjeverozapadu.

Što se tiče planiranih akumulacija, kako onih na manjim tokovima, tako i onih na Lici, može se zaključiti da su one ostvarljive pod relativno povoljnim uvjetima. To znači da su gubici voda iz akumulacija ili sasvim nemogući ili će oni biti samo relativni, tj. vode će ostati u slivu Like i dotjecati će u akumulaciju Krušćica.

Geološko-paleontološki zavod
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta
Zagreb, Socijalističke Revolucije 8.
Institut za geološka istraživanja
Zagreb, Beogradska 113

LITERATURA

Bahun, S. (1963): Geološki odnosi okolice Donjeg Pazarišta u Lici (Trijas i tercijarne Jelar-naslage). Geol. vjesn. 16, 161–170, Zagreb.

Bahun, S., Bukovac, J., Sokač, B. i Šušnjar, M. (1966): Osnovna geološka karta SFRJ, list Udbina 1 : 100 000. Arh. Inst. za geol. istraž., Zagreb.

Fritz, F. i Nikler, L. (1970): HE Senj–Akumulacija Bužim. Geološki i hidrogeološki odnosi. Arh. Inst. za geol. istraž., Zagreb.

Herak, M., Bahun, S. i Magdalenić, A. (1969): Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj. Krš Jugoslavije, Jugosl. akad. 6, 45–78, Zagreb.

Sokač, B., Šćavničar, B. i Velić, I. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ, list Gospić 1 : 100 000. Arh. Inst. za geol. istraž. Zagreb.

STJEPAN BAHUN and FRANJO FRITZ

THE HYDROGEOLOGY OF LIČKO POLJE

All waterflows, both surface and underground, coming from Ličko polje are collected into the Kurščica storage basin (for the hydroelectric power plant at Senj). In order to capture temporarily high waters during the wet seasons, several storage basins are planned in the area of Ličko polje. Hydrogeological investigations carried out for this purpose are based upon the 1 : 100 000 Udbina (Bahun, Bukovac, Sokač & Šušnjar, 1966), and 1 : 100 000 Gospić (Sokač, Šćavničar & Velić, 1967) geological maps.

In the stratigraphical succession, and according to the hydrogeological properties of rocks, the following lithostratigraphical members can be distinguished:

Impermeable Paleozoic shales and sandstones (C + P), and Lower Triassic clastics (T_1); highly permeable Middle Triassic limestones and dolomites (T_2^1 and T_2^2), as well as impermeable shales and pyroclastics ($^1T_2^2$); poorly permeable Middle Triassic limestones with cherts ($^2T_2^2$); Upper Triassic deposits with impermeable lower clastics ($T_3^{1,2}$) and poorly permeable upper dolomites ($T_3^{2,3}$); highly permeable Jurassic (J_1, J_2, J_3), Cretaceous ($K_{1,2}$), and Tertiary (Tc) calcareous deposits; Quaternary deposits (Q) with variable characteristics.

According to their hydrogeological function in the terrain there are four specific units:

1. The complex barrier of Mount Velebit is situated southwest of Ličko polje and is built up of impermeable beds (Peleozoic and Lower Triassic) and poorly permeable deposits (Upper Triassic dolomites), between which lie highly permeable Middle Triassic limestones and dolomites. All beds dip to the southwest, and all ground waters flow from permeable rocks towards Ličko polje.

2. Relative barriers built up of Upper Triassic dolomites with low permeability. In these areas, underground streams change their directions locally and/or periodically.

3. The permeable area consists of calcareous rocks of high permeability. According to the interrelationship of the morphology and the level of ground waters, the following subareas may be distinguished:

a) The subarea with permanent surface streams characterized by the high level of ground waters, mainly permanent springs on the southwestern border of Ličko polje, and permanent streams in Ličko polje. In this area ground waters are connected with surface streams.

b) The subarea with periodical surface streams characterized, in the dry season, by the low level of ground waters (below the river beds), periodical springs along the northeastern border, and without a connection between surface streams and ground waters. In the wet season, high waters come very rapidly and in large quantities. At the same time, the underground of this subarea is saturated with water; springs become active periodically, and abundant rapid streams flow along the formerly dry river beds.

c) The subarea without surface streams situated to the northeast of Ličko polje. This is a mountainous subarea up to 1 200 m above sea level. The circulation of waters is underground only.

Concerning the movement of waters, the investigated part of Mount Velebit bordering on the southwestern side of Ličko polje prevents underground flows to the sea, thus representing the watershed, consequently, waters coming from permeable Middle Triassic limestones and dolomites reach the springs on the southwestern border of Ličko polje. Both ground and surface waters flow across Ličko polje generally towards the north, into the Kruščica storage basin. On the other side, on the northeastern slopes of Ličko polje, ground waters do not reach the surface in the dry season but are drained underground towards the southwest into the Lika River. During the wet season, when Ličko polje is saturated, waters from northeast emerge to the surface and flow towards the northwest.

In conclusion it can be said that the planned storage basins on both the small streams of Ličko polje and the Lika River itself may be established under relatively favourable conditions. This means that the loss of water from the storage basins will be either completely impossible, or else will be only relative, i. e. the water will remain within the catchment area of the Lika River and will eventually be collected into the already completed Kruščica storage basin.

Department of Geology and Paleontology
Faculty of Science,
Socijalističke Revolucije 8, Zagreb
Institute of Geology
Beogradska 113, Zagreb

LEGENDA – LEGEND

1 Dobro vodopropusne — vapnenci s lećama dolomita
T_2^1, T_2^2, J_1, $J_{1,2}$, J_3, $K_{1,2}$, Tc
With high permeability — limestones with lenses of dolomites

2 Slabo vodopropusne — dolomiti, vapnenci s rožnjacima
P_{2+3}, T_1, T_2^1, $^2T_2^2$, $T_3^{2,3}$
With low permeability — dolomites, limestones with cherts

3 Vodonepropusne — shale, pješčenjaci, piroklastiti
$C + P$, P_2^1, T_1, T_2^1, T_2^2, $^1T_2^2$, $T_3^{1,2}$
Aquiclude — shale, sandstone, piroclastic

4 Naizmjeničnih osobina kvartarne naslage Q
With variable characteristics quaternary deposits

5 KOMPLEKSNA BARIJERA VELEBITA
sprečava otjecanje podzemnih voda iz unutrašnjosti prema moru
KOMPLEX BARRIER OF THE VELEBIT MOUNTAIN
preventing underground flows from inner area to the sea

6 RELATIVNE BARIJERE
privremeno mijenjaju smjer toka podzemnih voda
RELATIVE BARRIERS
periodically changing the directions of underground flows

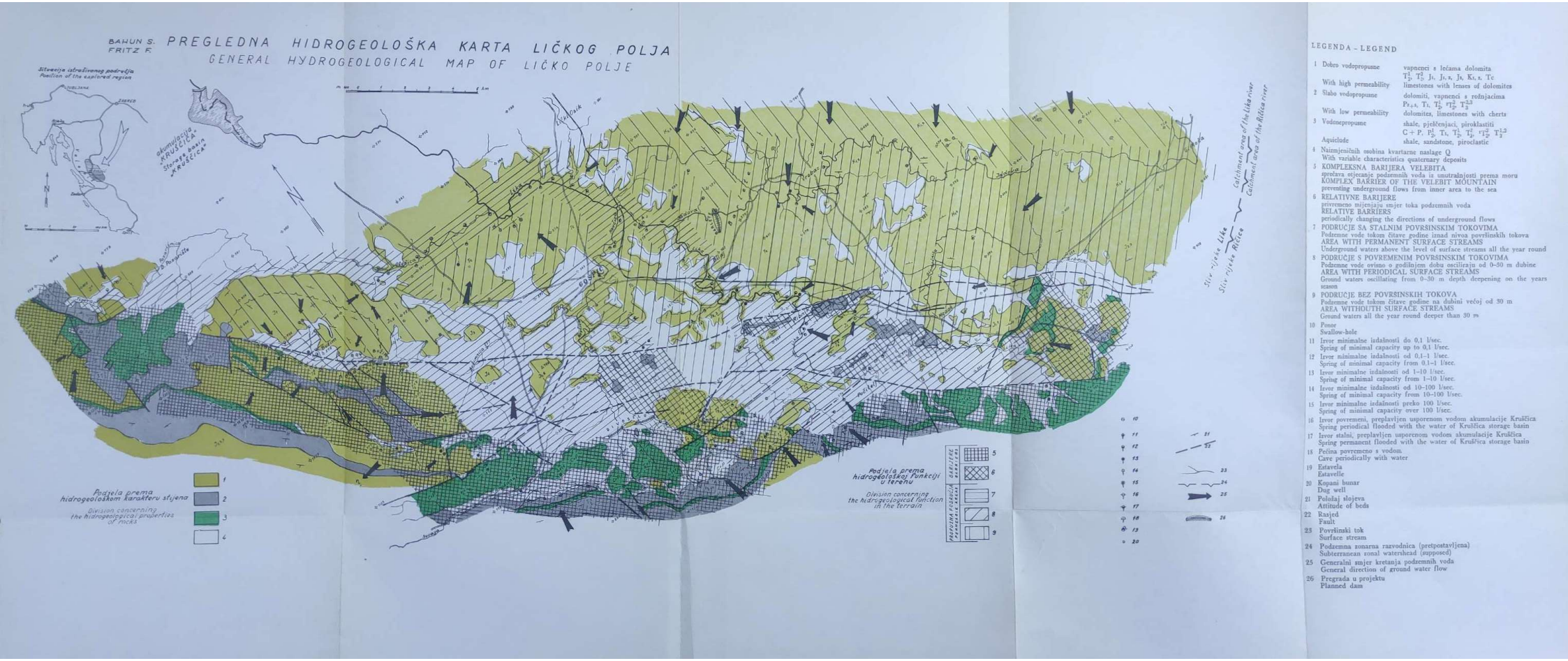
7 PODRUČJE SA STALNIM POVRŠINSKIM TOKOVIMA
Podzemne vode tokom čitave godine iznad nivoa površinskih tokova
AREA WITH PERMANENT SURFACE STREAMS
Underground waters above the level of surface streams all the year round

8 PODRUČJE S POVREMENIM POVRŠINSKIM TOKOVIMA
Podzemne vode ovisno o godišnjem dobu osciliraju od 0–30 m dubine
AREA WITH PERIODICAL SURFACE STREAMS
Ground waters oscillating from 0–30 m depth deepening on the years season

9 PODRUČJE BEZ POVRSINSKIH TOKOVA
Podzemne vode tokom čitave godine na dubini većoj od 30 m
AREA WITHOUTH SURFACE STREAMS
Ground waters all the year round deeper than 30 m

10 Ponor
Swallow-hole

11 Izvor minimalne izdašnosti do 0,1 l/sec.
Spring of minimal capacity up to 0,1 l/sec.


BAHUN S.
FRITZ F.
PREGLEDNA HIDROGEOLOŠKA KARTA LIČKOG POLJA
GENERAL HYDROGEOLOGICAL MAP OF LIČKO POLJE
Sitvacija istraživanog područja
Position of the explored region
akumulacija „KRUŠČICA"
Storage basin „KRUŠČICA"
Podjela prema hidrogeološkom karakteru stijena
Division concerning the hidrogeological properties of rocks
Podjela prema hidrogeološkoj funkciji u terenu
Division concerning the hidrogeological function in the terrain
Catchment area of the Lika river
Catchment area of the Ričica river
Sliv rijeke Like
Sliv rijeke Ričice
LEGENDA - LEGEND
1 Dobro vodopropusne
vapnenci s lećama dolomita
With high permeability
limestones with lenses of dolomites
2 Slabo vodopropusne
dolomiti, vapnenci s rožnjacima
With low permeability
dolomites, limestones with cherts
3 Vodonepropusne
shale, pješčenjaci, piroklastiti
Aquiclude
shale, sandstone, piroclastic
4 Naizmjeničnih osobina kvartarne naslage Q
With variable characteristics quaternary deposits
5 KOMPLEKSNA BARIJERA VELEBITA
sprečava otjecanje podzemnih voda iz unutrašnjosti prema moru
KOMPLEX BARRIER OF THE VELEBIT MOUNTAIN
preventing underground flows from inner area to the sea
6 RELATIVNE BARIJERE
privremeno mijenjaju smjer toka podzemnih voda
RELATIVE BARRIERS
periodically changing the directions of underground flows
7 PODRUČJE SA STALNIM POVRŠINSKIM TOKOVIMA
Podzemne vode tokom čitave godine iznad nivoa površinskih tokova
AREA WITH PERMANENT SURFACE STREAMS
Underground waters above the level of surface streams all the year round
8 PODRUČJE S POVREMENIM POVRŠINSKIM TOKOVIMA
Podzemne vode ovisno o godišnjem dobu osciliraju od 0–30 m dubine
AREA WITH PERIODICAL SURFACE STREAMS
Ground waters oscillating from 0–30 m depth deepening on the years season
9 PODRUČJE BEZ POVRŠINSKIH TOKOVA
Podzemne vode tokom čitave godine na dubini većoj od 30 m
AREA WITHOUTH SURFACE STREAMS
Ground waters all the year round deeper than 30 m
10 Ponor
Swallow-hole
11 Izvor minimalne izdašnosti do 0,1 l/sec.
Spring of minimal capacity up to 0,1 l/sec.
12 Izvor minimalne izdašnosti od 0,1–1 l/sec.
Spring of minimal capacity from 0,1–1 l/sec.
13 Izvor minimalne izdašnosti od 1–10 l/sec.
Spring of minimal capacity from 1–10 l/sec.
14 Izvor minimalne izdašnosti od 10–100 l/sec.
Spring of minimal capacity from 10–100 l/sec.
15 Izvor minimalne izdašnosti preko 100 l/sec.
Spring of minimal capacity over 100 l/sec.
16 Izvor povremeni, preplavljen usporenom vodom akumulacije Kruščica
Spring periodical flooded with the water of Kruščica storage basin
17 Izvor stalni, preplavljen usporenom vodom akumulacije Kruščica
Spring permanent flooded with the water of Kruščica storage basin
18 Pećina povremeno s vodom
Cave periodically with water
19 Estavela
Estavelle
20 Kopani bunar
Dug well
21 Položaj slojeva
Attitude of beds
22 Rasjed
Fault
23 Površinski tok
Surface stream
24 Podzemna zonarna razvodnica (pretpostavljena)
Subterranean zonal watershead (supposed)
25 Generalni smjer kretanja podzemnih voda
General direction of ground water flow
26 Pregrada u projektu
Planned dam